

선택하고 이를 생리신호 측정시 장면 자극으로 사용하였다.

2. 실험 환경

장면자극 제시 및 측정을 위하여 그림 1과 같은 방음 및 차폐된 측정실(3.8×4×2.5m³)을 구성하였다. 자극제시장치로는 슬라이드와 스크린을 사용하였고 EEG 장비는 GRASS사의 4채널 Model 12, ECG, GSR, RSP, EOG, PBP 장비는 BIOPAC사의 MP100WS, 데이터 획득 및 저장장치는 Pentium PC를 사용하였다.

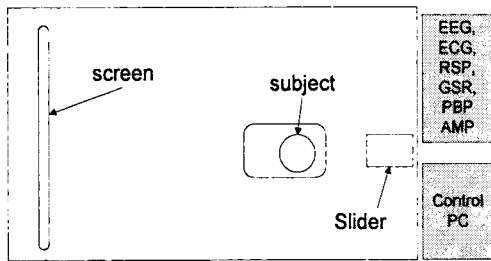


그림 1. 실험실 구성

측정한 생리신호 및 전극의 위치는 표 1과 같다. 최초 1000Hz로 샘플링하고 분석시에 재샘플링하여 사용하였다.

생리신호	전극위치
EEG(electroencephalogram)	O1, O2, F3, F4 referred A1,A2
ECG(electrocardiogram)	RA, LA, RF
GSR(galvanic skin response)	finger
RSP(resperatory)	breast
PBP(peripheral blood pressure)	finger

표 1. 측정 생리신호 및 전극 위치

3. 실험 과정

본 실험에 참여한 피험자는 26명의 건강한 20~24세 사이의 여대생이었다. 피험자는 측정 1시간 전에 실험실에 도착하도록 하고 사상체질 및 자기평가 심리측정 설문지를 작성하게 한다. 평가가 끝나면 전극을 부착한다. 측정실에서 피험자는 눈을 감은 상태와 눈을 뜬 상태에서 각각 휴식을 취한 후 장면자극을 제시받는다. 자극의 제시 순서는 쾌, 불쾌, 중립자극 순서이며 슬라이드 제시 시간은 각각 60초이고 매번마다 주관적 평가를 실시하였다. 본 실험에서는 위의 과정을 2회 반복 실시하였으며 생리신호는 슬라이드가 제시되는 60초 동안 측정되었다.

4. 데이터 분석

제안된 분석 알고리즘들을 통합적으로 구현하기 위하여 감성 분석 시스템을 설계하였다. 분석용 컴퓨터로 Pentium Pro 200 PC를 사용하였고, Windows 95를 기반으로 하고 Visual C++ 5.0을

사용하여 개발하였다. 이 프로그램을 이용하여 최대 16채널까지 화면에 디스플레이하고 선택할 수 있으며 FFT, AR, 3D 어트랙터, 1/f 주파수, 상호정보량, 상관차원, 리아프노프 지수의 분석이 가능하다.

4.2. EEG의 상대전력비

뇌파는 보통 수십 μV 정도로 매우 미약하며 주파수 영역은 0.1Hz에서 40Hz정도이다. 뇌파는 일반적으로 주파수에 따라 크게 4가지로 구분하며 그 특징은 표 2와 같다.

종류	특징
δ 파 (0~3.99Hz)	20~200 μV 의 진폭을 보인다. 젖먹이, 유아의 각성시 및 소아, 성인의 수면시 뇌의 여러 부위에서 나타난다.
θ 파 (4~7.99Hz)	20~100 μV 의 진폭을 보이며 불유쾌하거나 졸릴 경우에 잘 나타난다.
α 파 (8~12.99Hz)	20~60 μV 의 진폭을 보이며 정상 성인의 각성, 안정, 폐안 상태에서 잘 나타난다.
β 파 (13~30Hz)	20 μV 이하의 진폭을 보이며 불안, 긴장등의 정신활동 및 개안, 흥분시에 발생한다.

표 2. 뇌파의 구분

α 파와 β 파가 감성 변화에 민감한 반응을 보이는 변수인 것으로 알려져 있으며 눈을 감고 안정한 상태에서는 α 파가 주로 발생하고 각성상태에서는 α 파가 사라지면서 β 파가 주를 이루는 것이 일반적인 반응이다. 감각자극을 주면 α 파는 억제되는데, 특히 눈에 광선을 비추면 0.27~0.5초 후에 뚜렷한 억제가 일어난다. 본 실험에서는 눈을 뜬 채로 장면을 보기 때문에 안구운동의 영향을 받는 δ 파를 제외시킨 α 파와 β 파의 출현률 α' , β' 를 식 1과 같이 설정하였다.

$$\alpha' = \frac{\alpha}{\alpha + \beta + \theta}, \beta' = \frac{\beta}{\alpha + \beta + \theta} \quad (1)$$

또한 시각자극의 경우 눈을 항상 뜬 상태에서 빛의 자극을 받으므로 α 파는 대부분의 경우 β 파보다 작게 나온다. 그러므로 β 와 α' 의 차이 $\beta - \alpha'$ 를 비교하여 조사하였다.

주파수 스펙트럼을 구하기 위하여 FFT와 AR 모델링을 사용하였다. AR 모델링의 계수는 Burg알고리즘을 이용하여 구하였으며 최적 차수결정을 위해 final prediction error(FPE), akaike information criterion(AIC) 방법을 사용하였다.

4.2 카오스 특성 조사

맥파는 자율신경계와 심혈관계의 변화를 잘 반영한다. 기쁨, 슬픔, 분노, 흥분등의 심리상태에 따라 교감신경과 부교감 신경이 반응하며 이것은 심혈관계를 자극하고 결국 혈류량의 변화를 유발한다. 생체 시스템이 비선형 동역학 시스템이라는 이론이 최근 많은 논문들에서 증명되고 있으며 맥파는 생

장면 시자극에 대한 감성측정에 관한 연구

김동선, 김동윤, *임영훈, **손진훈
연세대학교 의용전자공학과
*세명대학교 전기전자공학부
**충남대학교 사회과학대학 심리학과

Human Sensibility Measurement for the Visual Picture Stimulus

D. S. Kim, D. Y. Kim, *Y. H. Lim, **J. H. Shon
Department of Biomedical Engineering, Yonsei University
*College of Electricity, Semyung University
**Department of Psychology, College of Social Science, Chungnam University

ABSTRACT

We present several biosignal measurement results and analysis algorithms for the visual stimulus from International Affective Picture System. Since human body is nonlinear dynamic system, we investigated both linear and nonlinear methods. We found that the chaos was diminished when unpleasant picture is presented relative to pleasant picture, and the alpha wave of EEG was slightly augmented in pleasant picture, but was not convincing result. These can be used as the parameter for the measurement of human sensibility.

생체신호들을 분석함으로써 피검자의 생리, 심리적 변화를 파악하고 이로부터 인간 감성을 측정하고자 한다.

뇌전위의 분석을 위해 fast Fourier transform (FFT), autoregressive(AR)을 사용하였고, 맥파(peripheral blood pressure, PBP)의 분석을 위해 카오스적 특성인 상관차원(correlation dimension)과 리아프노프 지수(Lyapunov exponents)를 사용하였다. 맥파의 상관차원은 쾌자극시 불쾌자극에 비교하여 상대적으로 큰 값을 가졌으나 리아프노프 지수는 유의미한 값을 보이지 못했다. 또한 뇌전위는 쾌자극시 불쾌자극보다 α 파가 증가하고 β 파가 감소하는 것이 일반적인 특징이나 시자극을 이용하므로 빛에 의한 α 파 억제가 발생하여 뚜렷한 차이를 보이지 못했다.

I. 서론

시각은 인간의 감각기관 중에서 가장 많은 정보를 제공하며 인간의 감성요소에 많은 영향을 주는 주요기관이다. 그러나 시자극에 대한 객관적 감성 측정 연구에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이를 객관적으로 평가하기 위해서는 시자극에 대한 생체신호의 정량적인 측정방법 개발과 이에 대한 분석 알고리즘의 개발이 요구되며 심리적 상태와의 상관관계도 고려되어야 한다.

본 연구에서는 외부의 물리적 시자극의 한 방법으로 장면자극을 제시하고 이에 대한 인간 내부의 생리적 변화를 생체신호 계측장비를 이용하여 측정하며 이로부터 장면자극에 대한 생체신호의 파라미터를 선형 및 비선형적으로 구하였다.

이제까지의 전통적인 분석방법인 주파수 분석, 상관 등은 주로 선형계에 적용되는 것들이기 때문에 본질적으로 비선형성을 내포한 생체시스템을 해석하기에는 한계성을 가지고 있다. 최근 많은 논문들에서 생체 시스템이 비선형 동역학 시스템이라는 사실이 증명되고 있고 카오스를 이용하여 정량화하려는 많은 논문들이 발표되었다. 그러므로 본 연구에서는 기존의 선형 분석방법들과 비선형 분석방법들을 병행 이용하여 장면 시자극에 대해 측정된

II. 방법

1. 장면 자극의 선정

160명의 대학생들에게 International Affective Picture System(IAPS)[1]의 그림들을 보여주며 주관적 평가를 실시하여 이 결과를 생리신호 측정시 제시되는 장면자극으로 사용하였다. IAPS는 플로리다 대학 심리학과 Peter Lang 교수가 개발하여 국제적으로 통용되고 있는 표준화된 감성자극 체계로서 일상생활의 사진 500장으로 구성되어 있다.

IAPS의 그림중 2개의 정서(기쁨, 혐오)를 가지는 그림과 중립가를 가지는 그림 20장을 선택하여 각각 10장씩 A군, B군으로 나누고 남녀 대학생 160명에게 각 그림을 8초간 제시하여 주관적 평가를 실시하였다. 자극은 2일 간격으로 두번 제시되며 첫째날은 semantic differential scale(SDS)을, 둘째날은 self-assessment manikin(SAM)을 작성하였다. SDS와 SAM은 슬라이드가 제시된 후 그림에 대한 피험자의 느낌을 평정하기 위한 질문지로서 SDS는 18개의 행동사가 7점 척도로 제시되며 SAM은 행복-불행 척도, 흥분-평온 척도, 위축-의연함 척도가 9점 척도의 그림으로 제시된다. 주관적 평가의 결과에 따라 2개의 정서(기쁨, 혐오)의 슬라이드와 중립가를 가지는 6장의 슬라이드를

체 카오스의 대표적 신호이다.

본 연구에서 맥파의 상관차원은 2~4차원 이내의 비정수 값을 가졌다. 의미있는 차원값의 추정을 위해서는 데이터의 길이가 $N > 10^{(CD/2)}$ 을 만족해야 하는데 본 연구에서는 8000개 이상의 데이터를 사용하여 조건을 만족하였다. 카오스 특성을 나타내는 방법들은 다음과 같다.

① 어트랙터 재구성(attractor reconstruction)

카오스 운동을 하는 시스템의 일차원 시계열 데이터를 위상공간상에 임베딩하는 방법을 이용하여 원래 카오스의 운동을 기술하는 것이 가능한데 이것을 카오스 어트랙터라고 한다. 시계열 데이터 $X(t)$ 는 시간지연 좌표계를 이용하여 M 차원 공간에 재구성하기 위해 시간간격 d 만큼 이동한 데이터를 이용하여 식 2와 같은 벡터를 구성하게 되어 M 차원 어트랙터를 얻을 수 있다.

$$X(t) = \{x(i), x(i+d), \dots, x[i+(M-1)*d]\} \quad (2)$$

② 지연시간의 설정

어트랙터의 재구성에 있어서 지연시간의 설정은 매우 중요한 문제이다. 본 연구에서는 Fraser[2]의 상호정보량 알고리즘을 이용하여 지연시간을 설정하였다. 어트랙터 상의 점들간에 상호정보량을 시간을 변화시켜 가며 구한 값중 첫 번째 국부 최소 값을 갖는 부분의 시간을 지연시간으로 설정하는 방법이다.

③ 1/f 특성 조사

Kobayashi[3]가 제안한 1/f 스펙트럼은 f 의 함수 $P(f)$ 가 다음과 같은 특성을 갖을 때(F 는 파워 스펙트럼) 1/f 특성을 가진다고 한다.

$$P(f) = 1/f^\alpha \quad (3)$$

1/f 특성은 카오스와 일정한 상관관계를 지니고 있는 것으로 여겨진다.

④ 상관차원

상관차원이란 위상공간상에 있는 어트랙터 점들간의 상관관계를 나타내는 값으로 카오스의 경우 낮은 차원의 비정수 값을 가진다. 상관차원은 실험 데이터들로부터 그 값을 구하는 것이 정보차원이나 용량차원에 비해 용이하므로 많이 쓰이며 Grassberger와 Procaccia[4]의 알고리즘에 의해 구하는 것이 일반적이다. 상관차원은 위상공간에서 r 보다 작은 거리에 의해 분리되는 점들의 쌍의 상대적인 개수를 결정하는데 근거를 둔다. 이것은 식 4에 의해 계산된다.

$$C(r) = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{m=1}^N \sum_{n=m+1}^N \theta(r - \|\vec{y}(m) - \vec{y}(n)\|) \quad (4)$$

$$d_c = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log(C(r))}{\log(r)}$$

X_i, X_j 는 위상공간에서 궤적의 점들이고 N 은 위상공간상에서의 데이터의 개수이며, 거리 r 는 각 참조점 X_i 주변의 반지름, θ 는 r 이내에 있지 않은 점들을 제외시키는 Heavyside 함수이다. 실제

로 상관차원을 구하는 방법은 log-log좌표에서 $C(r)$ 대 r 의 그래프를 그리고 적절한 비례형태를 보이는 부분의 기울기를 읽음으로서 구해진다. 상관차원은 카오스의 경우 낮은 차원의 비정수 값을 가진다.

⑤ 리아프노프 지수

카오스를 정의하는 특징은 “초기 조건에 민감한 의존성(Sensitive Dependence upon Initial Conditions, SDIC)”이다. SDIC은 시스템 상태의 작은 변화가 지수적으로 증가해서 결국 시스템의 행동을 완전히 지배함을 의미한다. SDIC은 리아프노프 지수들에 의해 정량화 된다. 만일 시스템이 적어도 하나의 양의 리아프노프 지수를 갖고 있으면 시스템은 카오스적이며 양의 지수가 크면 클수록 시스템은 더 카오스적이다. 즉, 시스템의 예측가능성은 더욱 짧아진다. 시스템은 어떤 수의 리아프노프 지수들도 가질 수 있으나 카오스임을 확인하기 위해서는 지배적인 지수가 양인지만 확인하면 된다. 그러므로 지배적인 지수의 추정은 매우 중요하다. 본 연구에서는 울프의 알고리즘을 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

26명의 여자 대학생들을 대상으로 장면자극에 대한 심리지수 평가를 위해 7단계(-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3)로 구성된 SDS와 5단계(-2, -1, 0, 1, 2)로 구성된 SAM 설문 조사를 실시하였다. 각각의 시자극 슬라이드에 대하여 쾌, 불쾌 심리지수 평가는 6쌍으로 된 형용사를 사용하여 표 2와 같은 결과를 얻었다. +1일 때 가장 쾌하고 -1일 때 가장 불쾌함을 의미한다. 각 시자극에 대하여 평균적으로 얻은 SDS, SAM 쾌, 불쾌 자기심리평가 방법은 대략 5% 이내의 차이를 두고 일치하는 것을 보였다.

장면자극	1(쾌)	2(불쾌)	4(쾌)	5(불쾌)
SDS	0.586	-0.600	0.651	-0.588
SAM	0.597	-0.629	0.694	-0.462

표 3. 주관적 평가의 결과

그림 2는 뇌전위의 O1, O2, F3, F4부위에서 $\beta - \alpha'$ 가 쾌자극보다 불쾌자극이 더 큰 경우를 나타낸 것이다. 시각 자극은 빛의 영향을 받으므로 α 파가 억제되어 β 파가 상대적으로 매우 크게 나타나므로 쾌자극과 불쾌자극간에 뚜렷한 차이를 보이지 못했다.

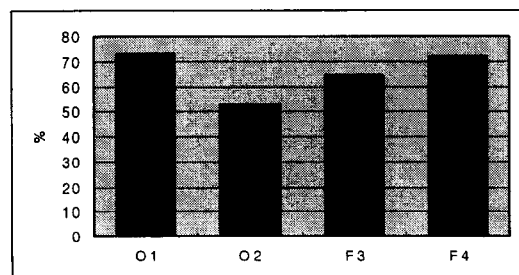


그림 2. EEE의 상대전력비

맥파의 지연시간을 구하기 위하여 상호정보량 알고리즘을 이용하였다. 그림 3은 158 경우에 대하여 상호정보량을 구한 결과로 0.4초 부근의 경우가 가장 많음을 볼 수 있다.

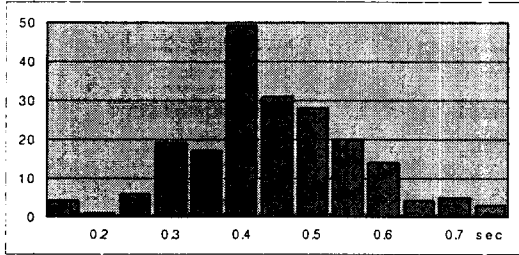


그림 3. 상호정보량에 의한 지연시간

맥파의 상관차원과 리아프노프 지수 결과는 표 4와 같다. 상관차원과 리아프노프 지수는 잡음에 매우 민감하므로 잡음이 심한 경우는 제외하였다. 인간의 감성변화에 대하여 카오스 특성은 매우 미약한 변화를 보였으며 명확히 구분할 정도는 아니었다. 변화폭이 매우 작으므로 단순히 패, 불패를 구분할 수는 없지만 상관차원의 경우 패자극시 불패자극시 보다 높은 경우는 90.5% 였으며, 리아프노프 지수는 61.9% 였다.

IV.결 론

본 실험에서는 패, 불패 장면자극을 제시하고 생체신호를 측정하여 분석하였다. EEG신호는 패자극일 때 α 파가 증가하고 β 파가 감소하는 경향을 보였으나 빛에 의한 α 파 억제에 의해 뚜렷한 구분을 보이지는 않았다. 맥파는 패 자극일때 불패 자극에 비하여 카오스가 높음을 보였는데 이는 '카오스 항상성' 이론과 일치하는 결과로 볼 수 있다. 카오스 항상성이란 생체 시스템이 정상적이고 안정 상태일 때 혼돈도가 높고 질병이나 스트레스에 의해 낮아진다는 가정이다. 앞에서 제시한 분석방법들과 결과들은 감성의 측정 및 평가방법으로 활용될 수 있을 것이라고 사료된다.

참 고 문 헌

- Margaret M., Bradley and Peter J. Lang, "Measuring Emotion: The Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential", J. Behav. Ther. & Exp. Psychiat. Vol. 25, No. 1, pp. 49-59, 1994.
- A. M. Fraser and H. L. Swinney, "Independent Coordinates for Strange Attractors from Mutual Information", Phys. Rev. A 33(1986), pp. 1134-1140.
- M. Kobayashi and T. Musha, "1/f Fluctuation of Heart Beat Period", IEEE Trans. BME, Vol. 29, pp.456-457.
- Peter Grassberger and Itamar Procaccia, "Characterization of Strange Attractors", Physical Review Letters, Vol.50, No.5, pp.346-349, Jan., 1983

피험 검	상관차원(차원)			리아프노프 지수 (bits/sec)		
	패	불패	차	패	불패	차
1	2.31	2.38	-0.07	0.053	0.049	004
	2.17	2.11	0.06	0.081	0.067	014
2	2.26	2.15	0.11	0.060	0.043	017
3	3.11	2.71	0.4	0.046	0.049	-003
	2.47	2.36	0.11	0.042	0.040	002
4	2.45	2.34	0.11	0.106	0.076	03
	2.66	2.42	0.24	0.083	0.099	-016
5	2.69	2.57	0.12	0.033	0.047	-014
	2.93	2.55	0.38	0.020	0.072	-052
6	2.92	2.54	0.38	0.064	0.080	-016
	2.64	2.40	0.24	0.054	0.041	013
7	3.04	2.96	0.08	0.026	0.064	-038
	3.32	3.09	0.23	0.069	0.090	-021
8	3.55	3.38	0.17	0.020	0.018	002
	2.88	2.82	0.06	0.024	0.028	-004
9	2.46	2.35	0.11	0.037	0.031	006
	2.45	2.30	0.15	0.038	0.032	006
10	2.03	1.89	0.14	0.064	0.043	021
11	2.65	2.55	0.1	0.038	0.030	008
	2.61	2.43	0.18	0.046	0.040	006
12	2.91	2.77	0.14	0.056	0.046	010
	3.49	3.41	0.08	0.049	0.043	006
13	2.46	2.00	0.46	0.029	0.025	004
14	3.15	3.08	0.07	0.065	0.051	014
	2.64	2.48	0.16	0.096	0.064	032
15	2.94	2.37	0.57	0.084	0.089	-005
	2.44	2.37	0.07	0.075	0.043	032
16	2.34	2.17	0.17	0.087	0.066	021
17	2.85	2.43	0.42	0.093	0.079	014
	2.34	2.39	-0.05	0.093	0.012	081
18	3.06	2.80	0.26	0.057	0.090	-033
	3.32	2.99	0.33	0.073	0.088	-015
19	2.93	2.67	0.26	0.081	0.069	022
20	2.60	2.53	0.07	0.057	0.049	018
	2.72	2.40	0.32	0.026	0.042	-016
21	3.14	2.84	0.3	0.055	0.068	-013
	2.78	2.86	-0.08	0.070	0.064	006
22	3.17	2.52	0.65	0.065	0.057	008
23	3.25	3.15	0.1	0.061	0.049	012
	2.82	2.96	-0.14	0.058	0.077	-019
24	3.49	2.48	1.01	0.026	0.052	-026
	3.00	2.80	0.20	0.037	0.049	-012

표 4. 상관차원과 리아프노프 지수

- Alan Wolf et. al., "Determining Lyapunov Exponents from a Time Series", Physica 16D, pp.285-317, 1985.
- 이병채, 이명호, "생체 카오스의 비선형 시계열 데이터 분석에 관한 연구", 의용생체공학회지, 제15권, 제3호, pp.379-386, 1994
- D. Hoyer, et. al, "Nonlinear Analysis of Heart Rate and Respiratory Dynamics", IEEE Engineering in Medicine and Biology, pp.31-39, Jan./Feb., 1997